

引用格式: 黄利, 周密. 国际生态系统服务研究动态与地域差异评价[J]. 资源科学, 2020, 42(4): 607-620. [Huang L, Zhou M. International ecosystem service research dynamics and regional differences: A bibliometric analysis based on Web of Science data [J]. Resources Science, 2020, 42(4): 607-620.] DOI: 10.18402/resci.2020.04.02

国际生态系统服务研究动态与地域差异评价

黄利, 周密

(沈阳农业大学经济管理学院, 沈阳 110866)

摘要: 生态系统服务研究已得到国内外学者广泛关注, 揭示当前国际研究热点与发展趋势, 将为国内生态系统服务研究与实践提供借鉴与参考。本文以“Web of Science 核心合集”的 SCI-E 和 SSCI 数据库为样本数据源, 借助 CiteSpace 可视化科学计量工具, 对国际上生态系统服务研究领域的 4208 篇文献进行了系统分析, 利用活力指数 (AI) 和吸引力指数 (AAI) 对不同国家或地区在该领域的研究效率和学术影响力进行了评价, 探讨国际上生态系统服务研究进展和动态变化规律。研究结果表明: ①国际上生态系统服务研究的文献数量和被引次数随着年份变化增长显著, 尤其在 2012 年以后, 关注该问题的学者不断增加; ②发文期刊集中性强, 排名前 10 位的期刊发文数量占到全部期刊发文总数的 40%; ③中国近年来在生态系统服务领域研究实力不断增强, 但仍低于全球平均水平; ④生态系统服务评估框架和方法框架是当前热点研究领域, 尤其应注重将社会需求、人类福祉、生态系统调节服务纳入到生态系统服务分析框架, 同时重点关注文化生态系统服务的价值和作用, 以及充分运用机器学习和大数据挖掘等创新方法解决复杂社会生态问题。

关键词: 文献计量; 生态系统服务; 知识图谱; CiteSpace; 可视化分析

DOI: 10.18402/resci.2020.04.02

1 引言

生态系统服务具有重要价值, 与人类福祉和区域可持续发展息息相关, 也是当今人类生态研究三大热门课题之一^[1]。20 世纪 70 年代末, 美国率先开展了生态系统服务的研究, 随后其他国家相继跟进, 经过几十年的发展, 国际上生态系统服务研究已经积累了丰硕的研究成果。关注国际上生态系统服务的研究进展和学术动态, 追踪世界各国在该领域研究的态势和影响, 分析该领域知识演进的特征和属性, 对生态系统服务后续研究具有重要意义, 同时也可为国内的相关研究提供借鉴和参考。

尽管已有文献从不同角度对生态系统服务研究进行了综述和回顾, 例如 Palomo 等^[2]就生态系统服务与农业生态实践之间的联系进行了系统的综述; Sattler 等^[3]对生态系统服务治理的分析方法进行

了梳理和回顾; 还有文献对生态系统服务感知的性别差异进行了回顾并总结了这一新兴主题的研究成果^[4]。上述研究对于学者们认识生态系统服务的主要内容具有一定的价值和意义。但是, 有限的文献综述仅对现有主要文献进行内容解析, 并不能清晰地呈现出已有的数量庞大的生态系统服务研究之间的内在联系, 不能从更为广泛的角度立体认识生态系统服务研究的全貌。

文献计量分析作为一种重要的定量分析方法, 可以有效地描述一个学科或研究领域发展的总体态势, 并已被广泛应用于衡量各种研究领域的表现^[5-7]。同时, 知识图谱可以将信息可视化技术与传统文献计量学分析相结合, 通过数据挖掘、信息处理、科学测量和图形绘制等手段生成不同类型的知识图谱, 为研究者提供更为直观的信息展示^[8,9]。

收稿日期: 2019-07-19; 修订日期: 2019-10-24

基金项目: 国家自然科学基金项目(71903133; 71973100); 辽宁省经济社会发展研究课题(2020lsktjdyb-030)。

作者简介: 黄利, 女, 四川岳池人, 讲师, 研究方向为农业资源与环境。E-mail: lilyhuang@syau.edu.cn

通讯作者: 周密, 男, 辽宁葫芦岛人, 教授, 研究方向为农业经济理论与政策。E-mail: zhoumi2011@syau.edu.cn

目前已有2篇文献基于文献计量的方法对国际上的生态系统服务的文献进行了研究。然而,其中1篇文献没有对主要研究力量及其合作关系进行分析^[10]。而另1篇文献尽管考虑到上述问题,但在数据库选择上亦有偏差,比如只关注SCI-E (Science Citation Index Expanded) 数据库而没有考虑SSCI (Social Science Citation Index) 数据库^[11]。不仅如此,2篇文献的截止时间均为2014年。随着近年来相关研究不断涌现,本文在已有研究的基础上,充分考虑到研究力量及其合作关系以及数据库选择的完备性(既包括SCI-E又包括SSCI),系统分析了从1994—2018年间相关文献的基本特征、主要研究力量以及研究热点等。本文还使用活力指数(AI)和吸引力指数(AAI)对主要发文国家的研究效率和学术影响力进行了评价,对于有效把握该领域研究发展趋势具有一定的参考价值。

此外,考虑到检索的完备性和准确性对研究结论存在较大影响,借鉴相关研究的做法^[12,13],本文试图采用题名而不是主题的检索策略,这样做可以避免出现大量不相关的结果,提高文献的集中度。本文的检索词为TI=(“ecosystem services” or “environmental services” or “ecological services” or “ecosystem service” or “environmental service” or “ecological service”),基本涵盖了生态系统服务的专用术语,保证了检索的完整性和准确率。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

本文以“Web of Science 核心合集”为文献检索平台,选择Science Citation Index Expanded (SCI-E) 和 Social Science Citation Index (SSCI) 数据库,检索时间跨度为1994—2018年。考虑到文献的集中度与精确度,检索策略设定为TI=(“ecosystem services” or “environmental services” or “ecological services” or “ecosystem service” or “environmental service” or “ecological service”) AND 语种:(English) AND 文献类型:(Article)。选择题名而不是主题作为检索条件可避免出现大量不相关的结果,最终确定样本量为4208篇文章。将检索到的文献记录下载保存为纯文本文件,格式为“全记录 and 引用的参考文献(Full Record and Cited References)”,作为本

文分析数据的样本。

2.2 研究方法

2.2.1 文献计量分析软件参数设置

CiteSpace 软件是目前文献计量分析领域最有影响力的分析工具之一,是由美国德雷克赛尔大学华裔学者陈超美研发的用于文献分析可视化的Java 应用程序。该软件可以从网站 <http://cluster.ischool.drexel.edu/~cchen/CiteSpace/download/> 上免费下载,本文使用的是5.3 R2 版本。

该软件的协作网络分析(作者和研究机构)、共现网络分析(关键词)以及其他统计分析功能可为学者们客观了解国际上生态系统服务研究领域在时间、研究机构及成员、研究关键词等方面的现状提供帮助。为满足运用这些功能的要求,并借鉴已有研究做法^[14],本文对软件参数进行如下设置:①时间切片(Time Slicing)为1994—2018年,每个切片的年份(Years Per Slice)=1;②节点类型(Node Types)分别选择研究机构、作者、关键词;③在选择标准(Selection Criteria)上,本文从每个切片中选取了研究机构和关键词被引用最多或出现频率最高的50个条目。而对于作者,则选取了出现频率最高的20个条目以确保所获得作者的权威性;④修剪设置上本文选择了“Pathfinder”以消除一些多余的连接^[15]。其他设置仍然设置为默认设置。

2.2.2 活力指数(AI)和吸引力指数(AAI)

参照已有研究^[16-18],本文使用活力指数(AI)和吸引力指数(AAI)两个指标来评估不同国家或地区在生态系统服务领域的研究强度(效率)和学术影响力随时间变化的情况。活力指数衡量一个国家对于一个研究领域所作的相对努力的程度,计算式为:

$$AI_i^t = \frac{P_i^t / \sum_{t_0}^{2016} P}{TP^t / \sum_{t_0}^{2016} TP} \quad (1)$$

而吸引力指数则衡量一个国家在通过其文献被引用程度而产生的对一个研究领域的影响,计算式为:

$$AAI_i^t = \frac{C_i^t / \sum_{t_0+2}^{2018} C}{TC^t / \sum_{t_0+2}^{2018} TC} \quad (2)$$

式中: AI_i^t 和 AAI_i^t 分别代表国家 i 在第 t 年的活力指数和吸引力指数; P_i^t 和 C_i^t 分别表示国家 i 在第 t 年

2020年4月

生态系统服务研究的发文数量和被引数量; $\sum_{t_0}^{2016} P$ 和 $\sum_{t_0+2}^{2018} C$ 分别表示一个时期内国家*i*生态系统服务研究文章总数和被引用总和, t_0 为国家*i*在该领域发表文章的初始年份;同样, TP' 和 TC' 分别代表世界范围内在第*t*年的总发文数量和总被引数量; $\sum_{t_0}^{2016} TP$ 和 $\sum_{t_0+2}^{2018} TC$ 则分别表示世界范围内与 $\sum_{t_0}^{2016} P$ 和 $\sum_{t_0+2}^{2018} C$ 相同的时间区间的文章总数和被引用总和。 $AI'_i = 1$ 和 $AAI'_i = 1$ 分别表示国家*i*在第*t*年的研究强度和学术影响等于全球平均水平。 $AI'_i > 1$ 或 $AI'_i < 1$ 分别表示国家*i*在第*t*年的研究强度高或低于全球平均水平;而 $AAI'_i > 1$ 或 $AAI'_i < 1$ 则表示国家*i*在第*t*年的学术影响力高于或低于全球平均水平。

3 结果与分析

3.1 文献基本特征分析

3.1.1 发文量与被引量

1994—2018年国际上生态系统服务领域的发文量和被引量均不断增加,显示出该领域得到学者们广泛关注,具有较强发展潜力。首先,从发文数量上看,1994—2018年生态系统服务领域的文章数量出现了两次突破。第一次是在2005年,当年发表的文章数量首次超过20篇。此前发文量增长十分缓慢,2005年之后开始平稳增长,研究成果逐渐增多。另一次是在2012年,当年发表的文章数量首次突破了200篇,此后发文量出现快速增长。2012—

2018年年均发表论文501篇,年均增长21.50%。其次,从总被引数量上看,1994—2018年间相关文章的总被引次数为121875次,平均每篇文章的被引次数为29次。和发文数量相对应,2005年之前的论文总被引量增长缓慢,年均被引量仅为98次。2005年后,总被引量稳步增长,2012年后增长更快,年均被引量分别为1629.70次(2005—2011年)和15626.70次(2012—2018年)。

3.1.2 主要来源期刊

通过分析国际上生态系统服务研究载文量排在前10位的期刊,可以发现这些期刊具有研究领域广和文章集中度高的特点。具体来讲:①在生态系统服务研究的期刊中,载文量排在前10位的期刊发文领域不仅包括生态学,还包括社会学、环境科学、生态经济、土地政策、景观生态以及综合类等多个学科,这说明该研究涉及的学科多交叉性强。②排名前10期刊的发文量(1679篇)已占到全部期刊发文总量的40%,总被引量(44568次)占到全部期刊总被引次数的36.60%,这些反映了相关研究主要发表在一些重要的期刊中,具有较高的集中度(表1)。

3.2 主要研究力量及合作分析

3.2.1 主要研究机构

国际上生态系统服务研究领域10大研究机构的发文量、平均被引量和影响水平(*H-index*)如表2所示。其中,就发文量而言,中国科学院(Chinese Academy of Sciences)以225篇发文位居榜首。发文量超过100篇的还有荷兰的瓦赫宁根大学(Wa-

表1 生态系统服务研究载文量排在前10位的期刊

Table 1 Top 10 productive journals in ecosystem service research

期刊	发文量/篇	占总发文量百分数/%	总被引量/次	平均被引量/次	<i>H-index</i>	5年影响因子
Ecosystem Services	526	12.50	6909	13.13	41	6.497
Ecological Economics	278	6.61	19950	71.76	71	5.207
Ecological Indicators	191	4.54	4756	24.90	40	4.863
Ecology and Society	123	2.92	3719	30.24	35	4.969
Sustainability	107	2.54	302	2.82	10	2.801
Science of The Total Environment	102	2.42	1433	14.05	25	5.727
Land Use Policy	100	2.38	2017	20.17	28	4.236
Plos One	94	2.23	1995	21.22	27	3.337
Journal of Environmental Management	83	1.97	1761	21.22	25	4.962
Landscape Ecology	75	1.78	1726	23.01	28	4.992

注:5年影响因子数据来自2018年版的Journal of Citation Reporting®Web of Science。

表2 生态系统服务研究发文量排在前10位的研究机构

Table 2 Top 10 most productive institutions in ecosystem service research

研究机构	国家	发文量/篇	总被引量/篇	平均被引量/次	H-index
Chinese Academy of Sciences	中国	225	13747	61.10	46
Wageningen University Research	荷兰	168	16483	98.11	42
Helmholtz Center for Environmental Research UFZ	德国	128	3518	27.48	37
Stockholm University	瑞典	94	7703	81.95	37
Stanford University	美国	90	8091	89.90	41
Beijing Normal University	中国	84	893	10.63	17
Swedish University of Agricultural Sciences	瑞典	73	2284	31.29	24
University of Minnesota	美国	69	10479	151.87	30
Autonomous University of Madrid	西班牙	67	4322	64.51	37
United States Environmental Protection Agency	美国	67	1255	18.73	20

geningen University Research)和德国的亥姆霍兹环境研究中心(Helmholtz Center for Environmental Research UFZ)。就平均被引量而言,排名前10位的研究机构中,美国的明尼苏达大学(University of Minnesota)平均被引量最高,达到151.87。就影响水平而言(即H-index指数),中国科学院是影响水平最高的研究机构(46分),其次为亥姆霍兹环境研究中心和斯坦福大学。

3.2.2 主要作者

国际上生态系统服务研究领域10大研究者及其团队特征如表3和图1所示。具体来讲:首先,就研究者而言,两位西班牙学者Martin-Lopez B和Gomez-Baggethun E在排行榜上占据了主导地位,其余作者主要来自美国、加拿大以及其他欧洲国家。其次,就研究团队而言,国际上生态系统服务研究初步形成了5个团队效应较为显著、且研究成果较为突出的典型作者群。该结论可以通过对生态系统

服务研究发文作者的协作网络图(图1)得出。图中每个节点代表一个作者,节点越大表示该作者的文章数量越多,节点之间的连线表示作者之间的合作,连线越粗说明合作越紧密。图1中的作者协作网络由266位作者和496条协作连线组成,展示出国际上生态系统服务研究有着大量的研究者以及广泛的协作。5个重要研究团队的合作者及研究领域如下所示:

(1)由Martin-Lopez B、Garcia-Llorente M、Gomez-Baggethun E和Palomo I等西班牙学者组成的研究团队(蓝色圆圈区域)。他们致力于不同类型的生态系统服务的偏好^[19,20]、生态系统服务评估^[21,22]、半干旱流域生态系统服务供给等问题的研究^[23-26]。该团队提出了生态系统服务评估应将社会文化价值纳入进来,采用非货币方法来评估社会偏好,这为后续生态系统服务评估研究奠定了基础^[19,20]。

(2)以瑞士学者Gret-Regamey A为核心的研究

表3 生态系统服务研究发文量排在前10位的作者

Table 3 Top 10 authors in ecosystem service research

作者	发文量/篇	所在单位	所在国家
Martin-Lopez B	49	Autonomous University of Madrid	西班牙
Gomez-Baggethun E	39	Autonomous University of Barcelona	西班牙
Gret-Regamey A	22	Swiss Federal Institute of Technology	瑞士
Polasky S	21	University of Minnesota	美国
Haase D	18	Helmholtz Center for Environmental Research	德国
Garcia-Llorente M	18	Autonomous University of Madrid	西班牙
Reyers B	17	Stockholm University	瑞典
Palomo I	16	Autonomous University of Madrid	西班牙
Bennett Em	16	McGill University	加拿大
Verburg Ph	16	VU University Amsterdam	荷兰

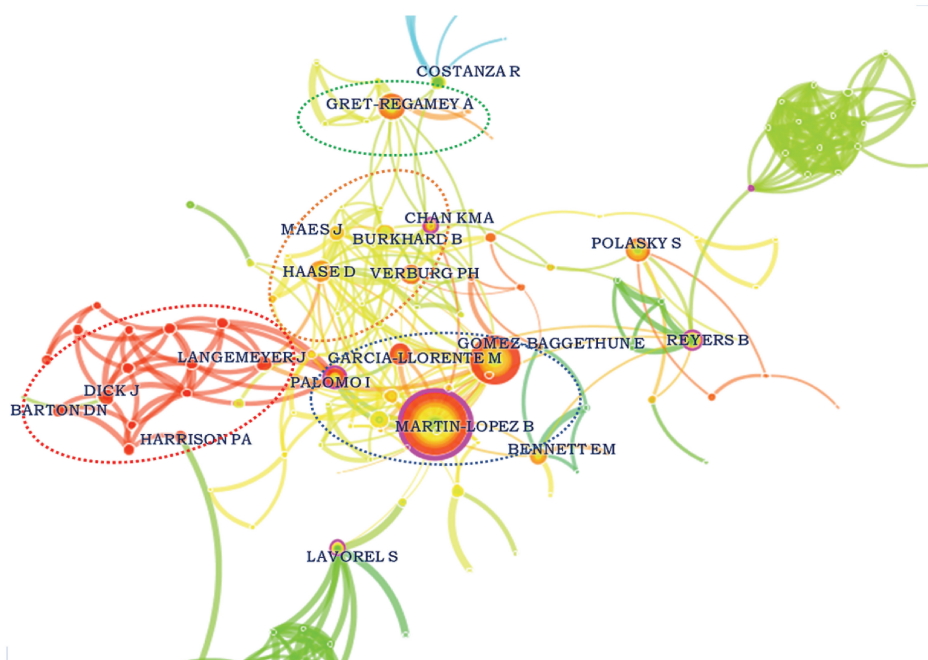


图1 生态系统服务研究作者协作网络图

Figure 1 Collaboration network of authors in ecosystem service research

团队(绿色椭圆区域)。该团队主要致力于山区的生态系统服务研究^[27-30]以及生态系统服务的评估模型开发^[31-33],例如地理信息系统(GIS)的程序模型等。该团队基于地理信息系统(GIS)平台开发了一个评估生态系统产品和服务价值的半自动程序,并通过评估4种类型的生态系统服务来说明该方法,能够很好地帮助决策者平衡不同规划方案对区域经济核算的影响,并能够指导他们选择可持续的以及在经济上可行的发展战略^[31]。

(3)以德国学者Haase D为核心的研究团队(橙色椭圆区域)。该团队主要研究城市生态系统服务的模型、评估框架和实际应用等^[34-37]。他们发现,城市生态系统服务的研究大多是在欧洲,北美和中国的城市进行,评估方法涉及生物物理模型、地理信息系统评估等。由于非洲大陆目前的城市增长率最高,因此有必要将城市生态系统服务的研究扩展到这些区域^[36]。此外,他们认为,城市生态系统服务的有效评估框架应该是一种可视化的、参与性的和多标准的评估框架。总的来说,该团队的研究对于城市生态系统服务领域的研究发展具有重要推动作用。

(4)美国学者Polasky S和瑞典学者Reyers B也

有较多数量的文章。他们主要研究生态系统服务标准^[38]、生态系统服务衡量、生物多样性与生态系统服务关系等问题^[39-41]。在生态系统服务的衡量上,他们提出应采用基于社会-生态系统的方法来衡量和管理生态系统服务和人类福祉^[39]。该研究对生态系统服务研究方法体系建构具有重要意义。

(5)值得注意的是,以Langemeyer J和Harrison P等为代表的作者群(红色椭圆区域)在过去的几年里进行了非常密切的合作,可能成为未来生态系统服务研究中潜在的重要研究力量。这些作者的文献多围绕生态系统服务的综合评估展开^[42-44],整合并引入了多种评估方法与指标,例如多标准决策分析法(Multi-Criteria Decision Analysis, MCDA)^[45-47]、决策树法(Decision Tree Approach)等^[48]。

3.3 生态系统服务研究的地域差异评价

在4208篇纳入分析的文献中,作者们主要来自世界100个国家和地区。为便于分析主要发文国家,表4中列出了发文量排在前10位的国家和地区。从中可以发现3个特点:第一,欧洲的学者对该问题研究最多。例如,在生态系统服务研究发文量排在前10位的国家中,除了北美洲的美国、亚洲的中国和大洋洲的澳大利亚这3个国家以外,其余7

表4 生态系统服务研究发文量排在前10位的国家

Table 4 Top 10 most productive countries in ecosystem service research

	国家	发文量/篇	总被引量/次	平均被引量/次	H-index
1	美国	1320	58469	44.29	113
2	英国	582	24350	41.84	75
3	中国	541	7232	13.37	43
4	德国	512	13640	26.64	62
5	澳大利亚	342	10833	31.68	57
6	西班牙	322	11863	36.84	56
7	荷兰	298	21233	71.25	58
8	法国	283	8667	30.63	45
9	意大利	251	4699	18.72	38
10	瑞典	233	12161	52.19	50

个国家均来自欧洲。第二,美国的学者发文量最多。美国以1320篇发文量和58469次总被引次数位居榜首,而排在次位的英国仅有582篇,与美国存在较大差距。第三,美国学者的影响力最高。例如,在各个国家的学者中,美国学者的H-index指数值最高,远远高于其他国家。

为评价上述10个国家在生态系统服务研究方面的强度与学术影响力变化,分别使用活力指数(AI)和吸引力指数(AAI)对此进行分析。在报告结果之前,需要说明的是,考虑到一篇文章的发表时间和被引用时间之间通常会存在滞后的情况^[49,50],因此本文将吸引力指数的时间范围设定为比活力指数滞后2年。两个指数变化情况的象限图如图2所示^①,其中I到IV象限代表4种不同的情形:第I象限的点代表该国AI和AAI指数均高于全球平均水平的年份;第II象限的点代表该国AAI指数高于全球平均水平而AI指数低于全球平均水平的年份;第III象限的点代表该国AI和AAI指数均低于全球平均水平的年份;第四象限的点则代表了该国AI指数高于全球平均水平而AAI指数低于全球平均水平的年份。

总的来说,除美国和荷兰外,其他国家两个指数在研究期内均呈现出上升趋势。从图2可以看到,尽管美国近2年2个指数的值降到了全球平均线以下,但是在大多数年份的研究强度和学术影响均高于全球平均水平。然而,中国、意大利、德国和西班牙尽管在大多数年份的研究强度和学术影响

力均低于全球平均水平,但近年来学术影响力却高于全球平均水平,说明这些国家在生态系统服务研究方面的研究实力正不断增强。此外,芬兰研究成果的学术影响力在早期一直高于世界平均水平,近年来有所下降,维持在全球平均水平附近。最后,从每个国家各点到参考线的距离来看,大多数国家折线波动比较剧烈,只有英国、意大利和法国相对接近参考线,意味着他们的研究强度与学术影响力是接近平衡的。

3.4 研究热点

3.4.1 关键词共现分析

关键词反映了作者的写作意图和兴趣,概括了文章的主要内容,人们可以从文章的关键词中获得如研究目标、方法和主要观点等有用的信息^[51]。因此,关键词的频率分析以及时期变化分析是探讨某一研究领域研究热点及其发展变化的关键^[52]。

这部分利用CiteSpace软件的关键词共现分析,绘制生态系统服务研究的关键词共现网络图,测度了该领域的主要研究热点(图3)。图中每个十字形节点代表一个关键词,较大的节点表示关键词出现的频率较高。同样,连线的宽度表示关键词共现的频率,较粗的连线表示两个关键词之间出现的频率较高。毫无疑问,“生态系统服务”(ecosystem service)作为本文检索的主要关键词,是图中最大的节点,共出现1700次,同时与“生物多样性”(biodiversity, 1107次)、“保护”(conservation, 1029次)、“管理”(management, 933次)、“评估”(valuation, 571

① 限于篇幅,感兴趣的读者可联系作者索取计算结果。

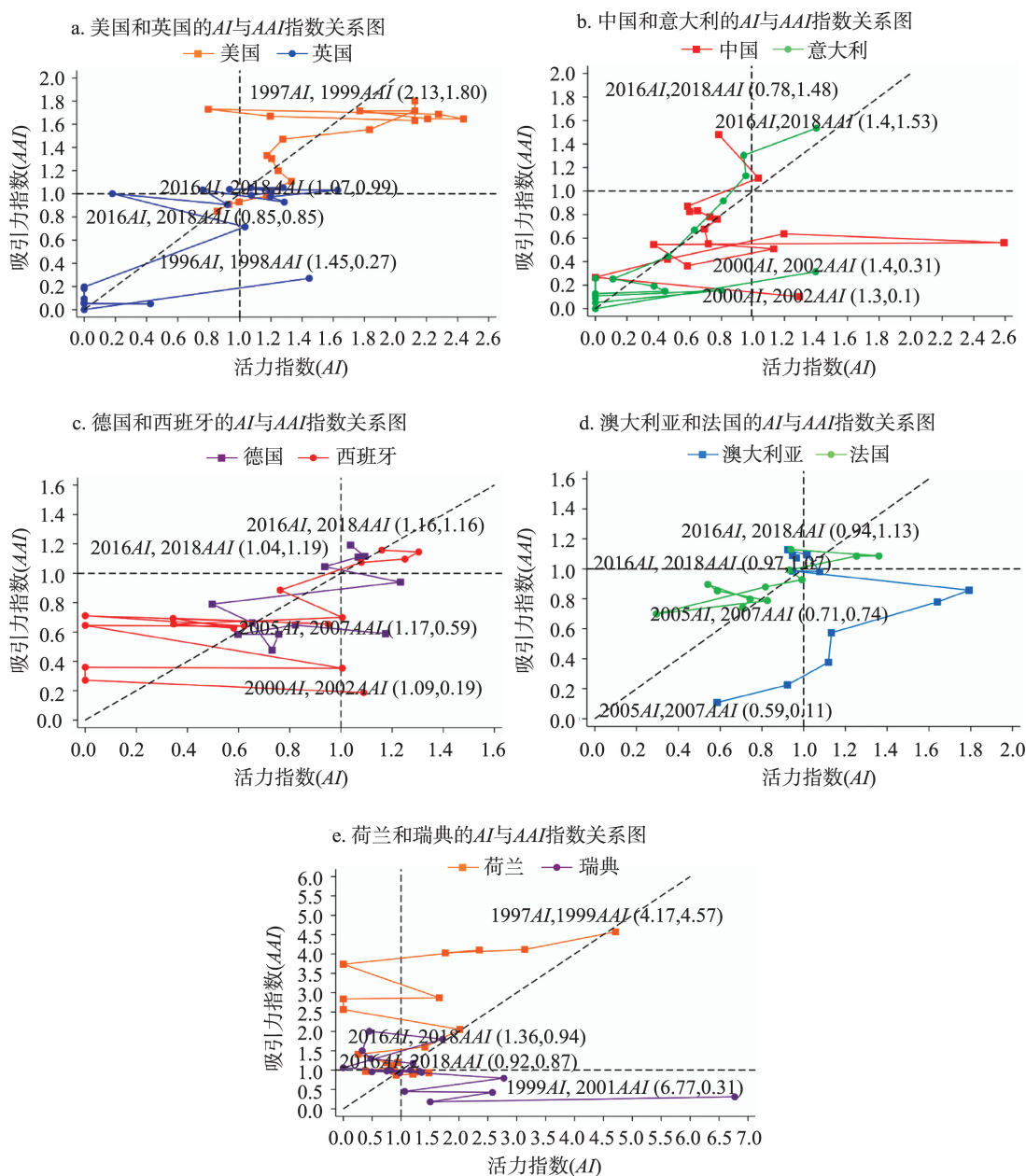


图2 前10个国家的AI与AAI指数关系图

Figure 2 Relational chart of activity index (AI) and attraction index (AAI) for top 10 countries

注:参考线 $x=y$ 表示一个国家生态系统服务研究的强度与影响力的平衡状态

次)密切相关。此外,“土地利用”(land use, 441次)、“景观”(landscape, 420次)、“影响”(impact, 388次)、“框架”(framework, 388次)、“气候变化”(climate change, 368次)等关键词也因其出现频率较高而成为网络中的重要节点。这些重要节点基本涵盖了国际上生态系统服务研究的几个主要方面:一是生态系统服务与生物多样性关系的研究;二是生态系统服务管理与科学决策的研究;三是多种生态系统

服务价值评估的研究;四是土地利用和气候变化对生态系统服务的影响研究;五是生态系统服务分析框架的研究。

3.4.2 关键词时期变化分析

根据过去近30年有关生态系统服务研究关键词的演变规律,本文归纳出了4个不同时期中最常用的15个关键词(表5)。

在第一个时期(1994—2004年),除生态系统服



图3 生态系统服务研究关键词共现网络图

Figure 3 A visualization of the keyword co-occurring network in ecosystem service research

务(ecosystem service)外,生态学(ecology)和生物多样性(biodiversity)也是该领域研究的主要关键词。然而,由于这一时期的文献数量较少,对于生态系统服务的研究相对分散,不是很系统,因此较难归纳出该时期生态系统服务研究的热点问题。

在第二个时期(2005—2009年),生态系统服务作为本研究检索的主要关键词依旧发挥主导作用,其次是生物多样性(biodiversity)、管理(management)和保护(conservation)。从这个时期开始,生物多样性开始受到了更多的关注。同时,对于生态

系统服务价值“评估”(valuation)的研究也开始增多。生物多样性对于维持生态系统服务至关重要。这一时期生物多样性与生态系统服务的研究主要包括:生物多样性和生态系统服务关系的多尺度实证研究、生物多样性与生态系统的相互作用、生物多样性对生态系统服务的价值等。例如Costanza等^[53]通过研究发现在高温范围地区(平均13℃),生物多样性每变化1%会引起对应生态系统服务价值约0.5%的变化。同时,该时期研究者们对包括森林^[54]、流域^[55]、湿地^[56]、山地^[31]、农业^[57]等在内的多种生态系统服务的经济价值进行了评估,也有学者强调有必要从心理文化视角对生态系统服务价值进行评估以弥补传统评估的缺陷^[58]。不过由于生态系统的结构复杂性和功能多样性,这一时期还没有形成被普遍认可的生态系统服务价值评估方法体系。

在第三个时期(2010—2014年),生态系统服务、生物多样性、保护、管理和评估仍然是最重要的研究热点,而土地利用(land use)、景观(landscape)生态系统服务以及气候变化(climate change)与生态系统服务也开始在这一领域发挥重要作用。全球最大的环境压力之一来自于人为活动造成的气候变化和土地利用变化,二者均成为影响生态系统服务的重要驱动因素^[59]。这一时期学者们集中讨论

表5 生态系统服务研究关键词4个时期频数变化

Table 5 Keyword frequency changes of four periods in ecosystem service research

序号	1994—2004年	频数	2005—2009年	频数	2010—2014年	频数	2015—2018年	频数
1	ecosystem service	15	ecosystem service	109	ecosystem service	579	ecosystem service	997
2	ecology	8	biodiversity	77	biodiversity	379	biodiversity	646
3	biodiversity	5	management	56	conservation	360	conservation	614
4	diversity	4	conservation	53	management	297	management	577
5	equity	3	valuation	32	valuation	207	valuation	332
6	dynamics	3	ecology	27	land use	138	framework	309
7	management	3	forest	27	landscape	121	land use	284
8	benefit	2	diversity	25	climate change	113	landscape	282
9	model	2	environmental service	24	environmental service	113	impact	279
10	united states	2	carbon	20	impact	99	climate change	250
11	value	2	land use	19	forest	88	decision making	218
12	pattern	2	Costa Rica	19	system	83	trade off	179
13	environmental service	2	landscape	17	model	82	policy	175
14	wetland	2	sustainability	16	benefit	81	forest	174
15	ecosystem	2	environment	15	classification	78	value	159

2020年4月

了土地利用变化、气候变化(包括极端气候事件)对于生态系统服务价值的影响^[60-63],并探讨了生态系统服务价值的空间差异^[64]。例如Costanza等^[65]估计从1997年到2011年,由于土地利用变化而造成的生态系统服务损失为每年4.3万亿~20.2万亿美元。Hao等^[64]以及Li等^[66]研究认为从生态系统服务价值的角度来看,湿地、水域和林地由于具有较高的生态系统服务价值系数,因此应得到重点保护。这些研究成果极大丰富了土地利用、气候变化与生态系统服务的关系,为定量评估土地利用、气候变化对生态系统服务的影响奠定了一定的基础。当然这些结论的准确性还需要在未来的研究中得到进一步验证。

最后一个时期(2015—2018年),关于生态系统服务评估框架和方法框架的研究越来越受到学者们的重视,“框架”(framework)研究在这一时期已成为生态系统服务研究的一个重要课题(从排行榜外跃升到第6位)。学者们一方面利用已有的比较成熟的分析框架和模型,如生态系统服务级联框架(ecosystem services cascade framework)^[67]、生态系统服务与权衡综合评估模型(InVEST)^[68,69]、土壤和水评估工具(SWAT)^[70,71]等,对不同区域的生态系统

服务进行评估,并对一些框架和模型进行了评价。例如La Notte等^[72]指出,传统的生态系统服务级联框架只强调生态系统服务的最终用途收益,而忽略了生态系统的内在复杂性。Carvalho-Santos等^[71]的研究结果表明土壤和水评估工具(SWAT)是一种在流域尺度上进行生态系统服务建模和绘图的有效工具。另一方面,一些学者也尝试开发新的生态系统服务分析框架。例如,Hough等^[73]提出了一个整合了社会水文学和生态系统服务概念的社会生态水文学阈值框架(SEHT),并利用该框架识别了美国亚利桑那州的圣佩德罗河沿岸走廊社会生态水文系统的关键驱动因素和阈值,结果可为生态系统服务评估和监测提供指导。Su等^[74]提出了一个基于过程的土壤生态系统服务研究和管理框架,应用该框架评估了汾河上游流域的土壤服务价值,为土壤管理策略的制定提供参考依据。

3.4.3 关键词地域差异分析

由于气候、地理特征、历史因素和经济条件等的不同,不同国家或地区在某一领域的研究发展是不平衡的。发文量排名前10位国家相关研究的高频关键词以及主要研究类型和区域分布情况如表6所示。结果发现,在生态系统服务的研究上,各国

表6 发文量排在前10位国家的前10个高频关键词以及主要研究类型和区域

Table 6 The 10 most frequently used keywords, main research types, and regions in the 10 most influential countries

国家	主要关键词	主要研究类型和区域
美国	生态系统服务,保护,生物多样性,管理,评估,土地利用,气候变化,影响,景观,环境服务	森林生态系统,牧场生态系统,农业生态系统,城市景观生态系统,淡水生态系统,草原生态系统,密西西比河流域湿地生态系统,阿拉斯加海洋生态系统
英国	生态系统服务,生物多样性,保护,管理,评估,气候变化,土地利用,框架,影响,景观	城市生态系统,城市森林生态系统,泥炭地生态系统,湿地生态系统,土地利用
中国	生态系统服务,中国,保护,影响,生物多样性,评估,土地利用,土地利用变化,管理,城市化	森林生态系统,流域生态系统,平原生态系统,高原生态系统,草原生态系统,城市生态系统,湿地生态系统,农业生态系统,土地利用
德国	生态系统服务,生物多样性,保护,管理,框架,评估,土地利用,政策,决策,景观	森林生态系统,城市生态系统,土地利用,威瑟河、莱茵河流域生态系统
澳大利亚	生态系统服务,保护,生物多样性,管理,评估,气候变化,土地利用,景观,澳大利亚,框架	草原生态系统,大堡礁海洋生态系统,湿地生态系统,农业生态系统,土地利用
西班牙	保护,生物多样性,生态系统服务,管理,评估,框架,景观,影响,西班牙,政策	农业生态系统,河流和河岸生态系统,文化景观生态系统,森林生态系统,社会生态系统
荷兰	生态系统服务,生物多样性,保护,管理,评估,框架,景观,决策,政策,土地利用	城市公园生态系统,湿地生态系统,流域生态系统,土地利用
法国	生态系统服务,生物多样性,保护,管理,框架,景观,影响,评估,生物多样性保护,决策	森林景观生态服务,地中海海洋生态系统,城市生态系统,阿尔卑斯山生态系统
意大利	生态系统服务,生物多样性,管理,框架,保护,景观,评估,影响,土地利用,政策	城市生态系统,淡水生态系统,流域生态系统,湿地生态系统
瑞典	生态系统服务,生物多样性,保护,管理,框架,景观,气候变化,弹性,土地利用,治理	城市生态系统,森林生态系统,农业生态系统

或地区的差异不是很大,均最为关注“生态系统服务”和“生物多样性”的关系研究。从研究类型和区域特征上来看,美国和中国研究的类型和区域最为广泛。具体来看,多数国家或地区都涉及了森林生态系统服务的相关研究,包括国家森林、城市森林、森林公园、森林景观等。其次是海洋、河流、湖泊等流域生态系统服务的相关研究,像地中海、中国黄海、山东半岛、长江流域、黄河三角洲、延河流域、太湖流域、美国密西西比河等都是研究相对集中的区域。有关城市生态系统服务的研究也比较多,视角也比较多样化,包括城市园林、城市景观、城市公园、城市绿地等,也有围绕城市化与生态系统服务进行研究的文献,半数以上集中在中国地区。农业生态系统服务的研究主要包括农业景观、农业用地、农田农场、农业土壤(地)以及农林复合生态系统服务等,主要集中在美国、中国、西班牙等国家和地区。湿地生态系统服务的相关研究则以中国、美国 and 英国为主。此外,各国还有各自独特的研究热点,如美国的“环境服务”研究和中国的“城市化”与生态系统服务的关系研究等。

4 结论与讨论

4.1 结论

本文以“Web of Science 核心合集”的 SCI-E 和 SSCI 数据库为样本数据源,借助 CiteSpace 可视化软件,绘制了国际上生态系统服务研究的知识图谱,对该研究领域的基本特征、主要研究力量以及研究热点等进行了系统分析,并使用活力指数(AI)和吸引力指数(AAI)对主要国家的研究效率和学术影响力进行了评价。研究发现:

(1)国际上生态系统服务研究的文献数量和被引次数随着年份变化增长显著。发文期刊具有较高的集中性,Ecosystem Services 和 Ecological Economics 是载文数量最多的期刊。该领域的研究者大多来自美国、中国和欧洲国家,初步形成了以西班牙、瑞士、美国、德国为中心的合作网络。

(2)不同国家或地区在生态系统服务的研究实力有所差异,美国在大多数年份的研究强度和学术影响均高于全球平均水平,而中国、意大利、德国和西班牙近年来的研究实力正在不断增强。

(3)近30年来国际上生态系统服务的研究热点

变化表明:生态系统服务与生物多样性的关系、生态系统服务管理与科学决策、多种生态系统服务价值评估等方面一直是生态系统服务研究的重要主题。2010年以后,关于土地利用和气候变化对生态系统服务的影响以及生态系统服务评估框架和方法框架的研究越来越受到学者们的重视。

(4)从研究类型和区域特征上来看,生态系统服务的研究聚焦于森林生态系统、流域生态系统和城市生态系统。美国和中国生态系统服务研究的类型和区域最为广泛。

4.2 讨论

在对国际上生态系统服务研究发展趋势分析的基础上,探讨未来生态系统服务研究的方向。

第一,在继续跟踪该领域的研究热点基础上,寻求生态系统服务分析方法、分析框架和决策机制的突破。具体来说:首先,在分析方法上,尽管已有研究采用了生态系统服务空间模型(Ecosystem service spatial modelling)^[75]、全球地图方法^[76]等先进的分析方法,但是详细的空间数据以及更为专业的计算模型仍十分缺乏。其次,在分析框架上,尽管有学者将生态系统服务与社会需求^[77]、人类福祉^[78,79]等进行融合,发展了相应的分析框架,但还应将生态系统调节服务纳入到生态系统服务分析框架^[80]。最后,应重视文化生态系统服务在生态系统服务权衡与决策上的价值和作用^[81,82]。

第二,随着信息时代的到来和互联网技术在各个领域的深入,未来应考虑将机器学习和大数据挖掘等创新方法纳入到该领域的研究中来。目前,已有文献在这方面进行了尝试^[83],但是,随着机器学习算法的不断优化以及大数据信息量的日益丰富,运用机器学习方法进行国际生态系统服务建模尤其是建立跨学科模型,将为系统解决复杂社会生态问题提供重要思路。

需要指出的是,CiteSpace 软件尽管已经广泛应用于文献计量研究,该软件也存在一些缺点。例如,第一作者和通讯作者没有进行清楚地区分等。此外,目前还有许多其他的文献可视化分析工具,可以结合不同的可视化技术,为生态系统服务研究提供一个更加综合的知识图谱。当然,本文是基于客观文献数据进行的文献计量分析,研究结果稳定

2020年4月

可靠且总体上不受经验主义的影响。因此,本文的研究结论对于生态系统服务领域研究动态及进展的把握具有一定的理论价值和参考意义。

参考文献(References):

- [1] Hossain M S, Pogue S J, Trenchard L, et al. Identifying future research directions for biodiversity, ecosystem services and sustainability: Perspectives from early-career researchers[J]. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, 2018, 25(3): 249–261.
- [2] Palomo-Campesino S, Gonzalez J A, Garcia-Llorente M. Exploring the connections between agroecological practices and ecosystem services: A systematic literature review[J]. *Sustainability*, 2018, doi: 10.3390/su10124339.
- [3] Sattler C, Loft L, Carsten M, et al. Methods in ecosystem services governance analysis: An introduction[J]. *Ecosystem Services*, 2018, 34: 155–168.
- [4] Yang Y C E, Passarelli S, Lovell R J, et al. Gendered perspectives of ecosystem services: A systematic review[J]. *Ecosystem Services*, 2018, 31: 58–67.
- [5] Wang Z H, Zhao Y D, Wang B. A bibliometric analysis of climate change adaptation based on massive research literature data[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 199: 1072–1082.
- [6] Ekundayo T C, Okoh A I. A global bibliometric analysis of Plesiomonas-related research (1990–2017)[J]. *Plos One*, 2018, 13(11): e0207655.
- [7] 谢伶, 王金伟, 吕杰华. 国际黑色旅游研究的知识图谱: 基于CiteSpace的计量分析[J]. *资源科学*, 2019, 41(3): 454–466. [Xie L, Wang J W, Lv J H. Knowledge mapping of international dark tourism research: A bibliometric analysis using CiteSpace[J]. *Resources Science*, 2019, 41(3): 454–466.]
- [8] Shiffrin R M, Börner K. Mapping knowledge domains[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2004, 101: 5183–5185.
- [9] 李杰, 陈超美. CiteSpace: 科技文本挖掘及可视化[M]. 北京: 首都经济贸易出版社, 2016. [Li J, Chen C M. CiteSpace: Text Mining and Visualization in Scientific Literature[M]. Beijing: Capital University of Economics and Business Press, 2016.]
- [10] 冷疏影, 高锡章, 裴韬, 等. 地理科学三十年: 从经典到前沿[M]. 北京: 商务印书馆, 2016. [Leng S Y, Gao X Z, Pei T, et al. 30 Years of Geographic Science: From Classic to Frontier[M]. Beijing: Commercial Press, 2016.]
- [11] 张玲玲, 巩杰, 张影. 基于文献计量分析的生态系统服务研究现状及热点[J]. *生态学报*, 2016, 36(18): 5967–5977. [Zhang L L, Gong J, Zhang Y. A review of ecosystem services: A bibliometric analysis based on web of science[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(18): 5967–5977.]
- [12] Aleixandre-Benavent R, Aleixandre-Tudo J L, Castello-Cogollos L, et al. Trends in global research in deforestation: A bibliometric analysis[J]. *Land Use Policy*, 2018, 72: 293–302.
- [13] Peng B H, Guo D N, Qiao H, et al. Bibliometric and visualized analysis of China's coal research 2000–2015[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 197: 1177–1189.
- [14] Wang L, Xue X L, Zhang Y X, et al. Exploring the emerging evolution trends of urban resilience research by scientometric analysis[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2018, DOI: 10.3390/ijerph15102181.
- [15] Song J B, Zhang H L, Dong W L. A review of emerging trends in global PPP research: Analysis and visualization[J]. *Scientometrics*, 2016, 107: 1111–1147.
- [16] Shi S, Cheng C X, Jing Y, et al. Visualized analysis of developing trends and hot topics in natural disaster research[J]. *Plos One*, 2018, 13(1): e0191250.
- [17] Schubert A, Braun T. Relative indicators and relational charts for comparative assessment of publication output and citation impact[J]. *Scientometrics*, 1986, 9(5–6): 281–291.
- [18] Chen K H, Guan J C. A bibliometric investigation of research performance in emerging nanobiopharmaceuticals[J]. *Journal of Informetrics*, 2011, 5(2): 233–247.
- [19] Martín-López B, García-Llorente M, Ignacio P, et al. The conservation against development paradigm in protected areas: Valuation of ecosystem services in the Donana social-ecological system (southwestern Spain)[J]. *Ecological Economics*, 2011, 70(8): 1481–1491.
- [20] Martín-López B, Iniesta-Arandia I, García-Llorente M, et al. Uncovering ecosystem service bundles through social preferences[J]. *Plos One*, 2012, 7(6): e38970.
- [21] Martín-López B, Gomez-Baggethun E, Garcia-Llorente M, et al. Trade-offs across value-domains in ecosystem services assessment[J]. *Ecological Indicators*, 2014, 37: 220–228.
- [22] Gomez-Baggethun E, Kelemen E, Martín-López B, et al. Scale misfit in ecosystem service governance as a source of environmental conflict[J]. *Society & Natural Resources*, 2013, 26(10): 1202–1216.
- [23] Garca-Llorente M, Iniesta-Arandia I, Willaarts B A, et al. Bio-physical and sociocultural factors underlying spatial trade-offs of ecosystem services in semiarid watersheds[J]. *Ecology and Society*, 2015, DOI: 10.5751/ES-07785-200339.
- [24] Garca-Llorente M, Martín-López B, Iniesta-Arandia I, et al. The role of multi-functionality in social preferences toward semi-arid rural landscapes: An ecosystem service approach[J]. *Environmental Science & Policy*, 2012, 19–20: 136–146.

- [25] García-Llorente M, Castro A J, Quintas-Soriano C, et al. The value of time in biological conservation and supplied ecosystem services: A willingness to give up time exercise[J]. *Journal of Arid Environments*, 2016, 124: 13–21.
- [26] García-Llorente M, Harrison P A, Berry P, et al. What can conservation strategies learn from the ecosystem services approach? Insights from ecosystem assessments in two Spanish protected areas [J]. *Biodiversity and Conservation*, 2018, 27(7): 1575–1597.
- [27] Grêt-Regamey A, Walz A, Bebi P. Valuing ecosystem services for sustainable landscape planning in alpine regions[J]. *Mountain Research and Development*, 2008, 28(2): 156–165.
- [28] Grêt-Regamey A, Brunner S H, Kienast F. Mountain ecosystem services: Who cares?[J]. *Mountain Research and Development*, 2012, 32(S1): S23–S34.
- [29] Grêt-Regamey A, Brunner S H, Altwegg J, et al. Integrating expert knowledge into mapping ecosystem services trade-offs for sustainable forest management[J]. *Ecology and Society*, 2013, DOI: 10.5751/ES-05800-180334.
- [30] Grêt-Regamey A, Brunner S H, Altwegg J, et al. Facing uncertainty in ecosystem services-based resource management[J]. *Journal of Environmental Management*, 2013, 127(S1): 145–154.
- [31] Grêt-Regamey A, Bebi P, Bishop I D, et al. Linking GIS-based models to value ecosystem services in an alpine region[J]. *Journal of Environmental Management*, 2008, 89(3): 197–208.
- [32] Grêt-Regamey A, Celio E, Klein T M, et al. Understanding ecosystem services trade-offs with interactive procedural modeling for sustainable urban planning[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2013, 109(1): 107–116.
- [33] Grêt-Regamey A, Altwegg J S, Elina A, et al. Integrating ecosystem services into spatial planning: A spatial decision support tool [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2017, 165: 206–219.
- [34] Haase D, Schwarz N, Strohbach M, et al. Synergies, trade-offs, and losses of ecosystem services in urban regions: An integrated multiscale framework applied to the Leipzig-Halle region, Germany[J]. *Ecology and Society*, 2012, DOI: 10.5751/es-04853-170322.
- [35] Haase D, Frantzeskaki N, Elmqvist T. Ecosystem services in urban landscapes: Practical applications and governance implications[J]. *Ambio*, 2014, 43(4): 407–412.
- [36] Haase D, Larondelle N, Andersson E, et al. A quantitative review of urban ecosystem service assessments: Concepts, models, and implementation[J]. *Ambio*, 2014, 43(4): 413–433.
- [37] Haase D, Haase A, Rink D. Conceptualizing the nexus between urban shrinkage and ecosystem services[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2014, 132: 159–169.
- [38] Polasky S, Tallis H, Reyers B. Setting the bar: Standards for ecosystem services[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2015, 112(24): 7356–7361.
- [39] Reyers B, Biggs R, Cumming G S, et al. Getting the measure of ecosystem services: A social-ecological approach[J]. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2013, 11(5): 268–273.
- [40] Reyers B, O'Farrell P J, Cowling R M, et al. Ecosystem services, land-cover change, and stakeholders: Finding a sustainable foothold for a semiarid biodiversity hotspot[J]. *Ecology & Society*, 2009, 14(1): 1698–1707.
- [41] Reyers B, Polasky S, Tallis H, et al. Finding common ground for biodiversity and ecosystem services[J]. *Bioscience*, 2012, 62(5): 503–507.
- [42] Barton D N, Kelemen E, Dick J, et al. (Dis) integrated valuation: Assessing the information gaps in ecosystem service appraisals for governance support[J]. *Ecosystem Services*, 2018, 29: 529–541.
- [43] Dick J, Turkelboom F, Woods H. Stakeholders' perspectives on the operationalisation of the ecosystem service concept: Results from 27 case studies[J]. *Ecosystem Services*, 2018, 29: 552–565.
- [44] Saarikoski H, Primmer E, Sanna-Riikka S, et al. Institutional challenges in putting ecosystem service knowledge in practice[J]. *Ecosystem Services*, 2018, 29: 579–598.
- [45] Langemeyer J, Gomez-Baggethun E, Haase D, et al. Bridging the gap between ecosystem service assessments and land-use planning through multi-criteria decision analysis (MCDA)[J]. *Environmental Science & Policy*, 2018, 62(S1): 45–56.
- [46] Langemeyer J, Palomo I, Baraibar S, et al. Participatory multi-criteria decision aid: Operationalizing an integrated assessment of ecosystem services[J]. *Ecosystem Services*, 2018, 30: 49–60.
- [47] Saarikoski H, Mustajoki J, Barton D N, et al. Multi-criteria decision analysis and cost-benefit analysis: Comparing alternative frameworks for integrated valuation of ecosystem services[J]. *Ecosystem Services*, 2016, 22: 238–249.
- [48] Harrison P A, Dunford R, Barton D N, et al. Selecting methods for ecosystem service assessment: A decision tree approach[J]. *Ecosystem Services*, 2018, 29: 481–498.
- [49] Glanzel W, Danell R, Persson O. The decline of Swedish neuroscience: Decomposing a bibliometric national science indicator[J]. *Scientometrics*, 2003, 57(2): 197–213.
- [50] Qiu H, Chen Y F. Bibliometric analysis of biological invasions research during the period of 1991 to 2007[J]. *Scientometrics*, 2009, 81(3): 601–610.
- [51] Tian X, Geng Y, Sarkis J, et al. Trends and features of embodied flows associated with international trade based on bibliometric analysis[J]. *Resources Conservation and Recycling*, 2018, 131: 148–157.
- [52] Wang Z H, Zhao Y D, Wang B. A bibliometric analysis of climate change adaptation based on massive research literature data[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 199: 1072–1082.

2020年4月

- [53] Costanza R, Fisher B, Mulder K, et al. Biodiversity and ecosystem services: A multi-scale empirical study of the relationship between species richness and net primary production[J]. *Ecological Economics*, 2007, 61(2-3): 478-491.
- [54] Barbier E B. Valuing ecosystem services as productive inputs[J]. *Economic Policy*, 2007, 49: 178-229.
- [55] Butler J R A, Radford A, Riddington G, et al. Evaluating an ecosystem service provided by Atlantic salmon, sea trout and other fish species in the River Spey, Scotland: The economic impact of recreational rod fisheries[J]. *Fisheries Research*, 2009, 96(2-3): 259-266.
- [56] Hein L, van Koppen K, de Groot R S, et al. Spatial scales, stakeholders and the valuation of ecosystem services[J]. *Ecological Economics*, 2006, 57(2): 209-228.
- [57] Dong X B, Gao W S, Chen Y Q, et al. Valuation of fragile agro-ecosystem services in the Loess region: A case study of Ansai County in China[J]. *Outlook on Agriculture*, 2007, 36(4): 247-253.
- [58] Kumar M, Kumar P. Valuation of the ecosystem services: A psycho-cultural perspective[J]. *Ecological Economics*, 2008, 64(4): 808-819.
- [59] Lorencova E, Frelichova J, Nelson E, et al. Past and future impacts of land use and climate change on agricultural ecosystem services in the Czech Republic[J]. *Land Use Policy*, 2013, 33: 183-194.
- [60] Ditt E H, Mourato S, Ghazoul J, et al. Forest conversion and provision of ecosystem services in the Brazilian Atlantic forest[J]. *Land Degradation & Development*, 2010, 21(6): 591-603.
- [61] Polasky S, Nelson E, Pennington D, et al. The impact of land-use change on ecosystem services, biodiversity and returns to landowners: A case study in the state of Minnesota[J]. *Environmental & Resource Economics*, 2011, 48(2): 219-242.
- [62] Matthews S N, Iverson L R, Peters M P, et al. Assessing and comparing risk to climate changes among forested locations: Implications for ecosystem services[J]. *Landscape Ecology*, 2014, 29(2): 213-228.
- [63] Terrado M, Acuna V, Ennaanay D, et al. Impact of climate extremes on hydrological ecosystem services in a heavily humanized Mediterranean basin[J]. *Ecological Indicators*, 2014, 37: 199-209.
- [64] Hao F H, Lai X H, Ouyang W, et al. Effects of land use changes on the ecosystem service values of a reclamation farm in northeast China[J]. *Environmental Management*, 2012, 50(5): 888-899.
- [65] Costanza R, de Groot R, Sutton P, et al. Changes in the global value of ecosystem services[J]. *Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions*, 2014, 26: 152-158.
- [66] Li T H, Li W K, Qian Z H. Variations in ecosystem service value in response to land use changes in Shenzhen[J]. *Ecological Economics*, 2010, 69(7): 1427-1435.
- [67] Andersson-Skold Y, Klingberg J, Gunnarsson B, et al. A framework for assessing urban greenery's effects and valuing its ecosystem services[J]. *Journal of Environmental Management*, 2018, 205: 274-285.
- [68] Arunyawat S, Shrestha R P. Simulating future land use and ecosystem services in Northern Thailand[J]. *Journal of Land Use Science*, 2018, 13(1-2): 146-165.
- [69] Dai E F, Zhu J J, Wang X L, et al. Multiple ecosystem services of monoculture and mixed plantations: A case study of the Huitong experimental forest of Southern China[J]. *Land Use Policy*, 2018, 79: 717-724.
- [70] Dennedy-Frank P J, Muenich R L, Chaubey I, et al. Comparing two tools for ecosystem service assessments regarding water resources decisions[J]. *Journal of Environmental Management*, 2016, 177: 331-340.
- [71] Carvalho-Santos C, Sousa-Silva R, Goncalves J, et al. Ecosystem services and biodiversity conservation under forestation scenarios: Options to improve management in the Vez watershed, NW Portugal[J]. *Regional Environmental Change*, 2016, 16(6): 1557-1570.
- [72] La Notte A, D'Amato D, Makinen H, et al. Ecosystem services classification: A systems ecology perspective of the cascade framework[J]. *Ecological Indicators*, 2017, 74: 392-402.
- [73] Hough M, Pavao-Zuckerman M A, Scott C A. Connecting plant traits and social perceptions in riparian systems: Ecosystem services as indicators of thresholds in social-ecohydrological systems[J]. *Journal of Hydrology*, 2018, 566: 860-871.
- [74] Su C H, Liu H F, Wang S. A process-based framework for soil ecosystem services study and management[J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 627: 282-289.
- [75] Zulian G, Stange E, Woods H, et al. Practical application of spatial ecosystem service models to aid decision support[J]. *Ecosystem Services*, 2018, 29: 465-480.
- [76] Wolff S, Schulp C J E, Kastner T, et al. Quantifying spatial variation in ecosystem services demand: A global mapping approach[J]. *Ecological Economics*, 2017, 136: 14-29.
- [77] Wei H J, Liu H M, Xu Z H, et al. Linking ecosystem services supply, social demand and human well-being in a typical mountain-oasis-desert area, Xinjiang, China[J]. *Ecosystem Services*, 2018, 31: 44-57.
- [78] Wang B J, Tang H P, Xu Y. Integrating ecosystem services and human well-being into management practices: Insights from a mountain-basin area, China[J]. *Ecosystem Services*, 2017, 27: 58-69.
- [79] Vaz A S, Kueffer C, Kull C A, et al. Integrating ecosystem services and disservices: Insights from plant invasions[J]. *Ecosystem Services*, 2017, 23: 94-107.
- [80] Sutherland I J, Villamagna A M, Dallaire C O, et al. Undervalued and under pressure: A plea for greater attention toward regulating

- ecosystem services[J]. *Ecological Indicators*, 2018, 94: 23–32.
- [81] Bullock C, Joyce D, Collier M. An exploration of the relationships between cultural ecosystem services, socio-cultural values and well-being[J]. *Ecosystem Services*, 2018, 31: 142–152.
- [82] Turkelboom F, Leone M, Jacobs S. When we cannot have it all: Ecosystem services trade-offs in the context of spatial planning[J]. *Ecosystem Services*, 2018, 26: 566–578.
- [83] Willcock S, Martinez-Lopez J, Hooftman D A P, et al. Machine learning for ecosystem services[J]. *Ecosystem Services*, 2018, 33: 165–174.

International ecosystem service research dynamics and regional differences: A bibliometric analysis based on Web of Science data

HUANG Li, ZHOU Mi

(College of Economics and Management, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

Abstract: Ecosystem service research has been widely concerned by the Chinese and international scholars. Revealing the current international research hotspots and development trends will provide a reference for ecosystem service research and practice in China. Based on bibliometric analysis and CiteSpace, this study took the Science Citation Index Expanded (SCI-E) and Social Science Citation Index (SSCI) databases of the Web of Science Core Collection as sample data sources to systematically analyze the basic characteristics, main research impacts, and research hotspots in the field of ecosystem service research. The activity index (AI) and the attraction index (AAI) were used to evaluate the research efficiency and academic influence of different countries or regions in this field over time. The research results show that: (1) The number of publications and citations of international ecosystem service research increased significantly with time, especially after 2012, and the number of scholars focusing on this issue has continued to increase; (2) The concentration of published articles in relevant journals is strong; the number of published articles in the top 10 journals accounts for 40% of the total number of published articles; (3) In recent years, China's research strength in ecosystem services has been continuously enhanced, but it is still lower than the global average. (4) The assessment framework and research method framework of ecosystem services are currently hot topics in this research field. Particular attention should be paid to integrating social needs, human well-being, and ecosystem regulation services into the analysis framework of ecosystem services while focusing on the value and role of cultural ecosystem services, and making full use of innovative methods such as machine learning and big data mining to solve complex social and ecological problems.

Key words: bibliometric analysis; ecosystem services; knowledge mapping; CiteSpace; visualized analysis